

**PATENT APPLICATION**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re the Application of:

HOTTINEN

Group Art Unit: Not yet assigned

Application No.: New Continuation Application

Examiner: Not yet assigned

Filed: July 10, 2003

Attorney Dkt. No.: 60091.00171

For: POSITIONING METHOD AND RADIO SYSTEM

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 USC § 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

July 10, 2003

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign application(s) filed in the following foreign country(ies) is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

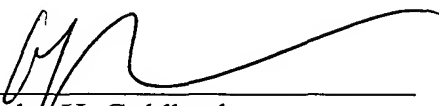
**Finnish Patent Application No. 20010079 filed on January 12, 2001 in Finland**

In support of this claim, certified copy(ies) of said original foreign application(s) is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document(s).

Please charge any fee deficiency or credit any overpayment with respect to this paper to Counsel's Deposit Account No. 50-2222.

Respectfully submitted,

  
\_\_\_\_\_  
Douglas H. Goldhush  
Registration No. 33,125

**Customer No. 32294**  
SQUIRE, SANDERS & DEMPSEY LLP  
14<sup>TH</sup> Floor  
8000 Towers Crescent Drive  
Tysons Corner, Virginia 22182-2700  
Telephone: 703-720-7800  
Fax: 703-720-7802

DHG:scc

Enclosure: Priority Document(s) (1)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS  
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

Helsinki 16.1.2003

ETUOIKEUSTODISTUS  
PRIORITY DOCUMENT



Hakija  
Applicant  
**Nokia Networks Oy**  
**Helsinki**

Patenttihakemus nro  
Patent application no  
**20010079**

Tekemispäivä  
Filing date  
**12.01.2001**

Kansainvälinen luokka  
International class  
**H04Q**

Keksinnön nimitys  
Title of invention

**"Paikannusmenetelmä ja radiojärjestelmä"**

Hakemus on hakemusdiaariin **09.12.2001** tehdyn merkinnän mukaan siirtynyt **Nokia Corporation** nimiselle yhtiölle, kotipaikka **Helsinki**.

The application has according to an entry made in the register of patent applications on **09.12.2001** been assigned to **Nokia Corporation, Helsinki**.

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

  
**Pirjo Kaila**  
**Tutkimussihteeri**

Maksu  
Fee  
**50,-**  
**50,-EUR**

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

|         |                             |            |                  |          |                   |
|---------|-----------------------------|------------|------------------|----------|-------------------|
| Osoite: | Arkadiankatu 6 A            | Puhelin:   | 09 6939 500      | Telefax: | 09 6939 5328      |
|         | P.O.Box 1160                | Telephone: | + 358 9 6939 500 | Telefax: | + 358 9 6939 5328 |
|         | FIN-00101 Helsinki, FINLAND |            |                  |          |                   |

## Paikannusmenetelmä ja radiojärjestelmä

### Keksinnön ala

Keksinnön kohteena on paikannuksen suorittaminen radiojärjestelmässä.

### 5 Keksinnön tausta

CDMA:ssa (Code Division Multiple Access) käyttäjän kapeakaistainen datasiignaali moduloidaan datasiignaalia laajakaistaisemmalla hajotuskoodilla suhteellisen laajalle kaistalle. WCDMA-radiojärjestelmässä (Wide-band CDMA) kaistaleveys vielä huomattavasti isompi, koska nykyisissä matkapuhelinverkoissa halutaan käyttäjälle tarjota yhä monipuolisimpia palveluja.

Radiojärjestelmissä tiedonsiirto tapahtuu duplex-moodissa, joka voidaan toteuttaa FDD- (Frequency-Division Duplex) tai TDD-periaatteella (Time-Division Duplex). FDD-ratkaisussa vastaanotto ja lähetys suoritetaan eri taajuuksilla. TDD-ratkaisussa vastaanotto ja lähetys suoritetaan eri ajanhetkinä, mutta vastaanotetun signaalin taajuus ja lähetetyn signaalin taajuus ovat samat.

Erityisesti WCDMA-radiojärjestelmässä signaalin vastaanotto ja lähettäminen voi tapahtua diversiteettiantennilla, joka käsittää ryhmän antennielementtejä. Signaalit vaiheistetaan toistensa suhteen halutulla tavalla, jotta antenniryhmän muodostama säteilykuvio saataisiin halutun suuntaiseksi ja muotoiseksi. Käytännössä vaiheistus suoritetaan kertomalla kunkin antennielementin digitaalisessa muodossa oleva kantataajuinen antennisignaali kompleksisilla antennikuviota muotoilevilla kertoimilla.

Yksi tavallisimmista päätelaitteen sijainnin määrittämismenetelmistä on mitata päätelaitteen ja ainakin kolmen tukiaseman välinen signaalien ajoitus, jolloin tiedetään signaalien kulkuaika päätelaitteen ja kunkin tukiaseman välillä. Päätelaitteen etäisyys tukiasemista voidaan esittää ympyränä kunkin tukiaseman ympärillä, koska päätelaitteen suuntaa tukiasemista ei ainakaan useimmiten tiedetä, ja kunkin ympyrän säde edustaa päätelaitteen etäisyyttä tukiasemasta. Kaikilla ainakin kolmella ympyrällä on yksi yhteinen leikkauspiste, joka on päätelaitteen sijaintiestimaatti. Tunnettuja päätelaitteen paikannuksessa käytettyjä mittausmenetelmiä ovat saapumisaikamittaus eli TOA-mittaus (Time Of Arrival) ja saapumisaikaeromittaus eli TDOA-mittaus (Time Difference Of Arrival).

TOA- ja TDOA-paikannusmenetelmiä haittaa kuitenkin ongelma, joka johtuu tilaajapäätelaitteen etäisyydestä tukiasemaan eli lähi-kauko-ongelma (near-far problem). Päätelaitteen paikannuksessa tätä ongelmaa nimitetään myös kuuluvuusongelmaksi. Yhden tukiaseman lähellä olevaa päätelaitetta eivät muut tukiasemat kuule eikä päätelaite lähellä olevan tukiaseman häiritsevän lähetyksen takia kuule muita tukiasemia. Kun päätelaitteen ja ainakin kolmen tukiaseman välistä signaalin kulkuaikaa ei voida mitata, ei myöskään päätelaitteen sijaintia voida tällä tavoin määrittää. Lisäksi puhtaasti viivemittauksiin pohjautuvat menetelmät ovat usein epätarkkoja, ja monitiekanaavassa on vaikea selvittää haluttujen tai ensimmäisten viivekomponenttien paikat.

Jos vastaanotin käsittää diversiteettiantennin tai yleisemmin vähintään toisen antennielementin voidaan myös vastaanottosuunnan avulla määrittää lähettimen sijainti. Tavallisesti tämä tapahtuu siten, että usea tukiasema mittaa päätelaitteen lähettämän signaalin vastaanottosuunnan (AoA, Angle of Arrival), jolloin päätelaitteen sijainti voidaan määrittää kahden suoran leikkauspisteeseen. Paikantamista on tarkemmin kuvattu julkaisussa: Overview of radiolocation in CDMA cellular systems, J. J. Caffery, Jr. and G. L. Stüber, IEEE, 1998, joka otetaan tähän viitteeksi.

Vastaanottosuunnan määrittäminen on kuitenkin vaativa tehtävä, jossa tarvitaan hyvää ryhmäantennin kalibrointia ja laskennallisesti vaativia parametrien estimointimenetelmiä. Vastaanottosuunnan määrittäminen vaatii runsaasti myös signalointia lähettimeltä tukiasemalle ja kuluttaa siten paljon kapasiteettia siirtosuunnassa päätelaitteelta tukiasemalle. Lisäksi ratkaisu mahdollistaa vain verkko-osan toteuttaman paikannuksen, joka vaatii, että päätelaite lähettää jotain verkko-osaan. On kuitenkin tilanteita ja palveluita, joissa halutaan päätelaitteen pystyvän tarkkaan paikan määrittämiseen mutta joissa verkko-osan ei haluta pystyvän paikantamaan päätelaitetta.

### Keksinnön lyhyt selostus

Keksinnön tavoitteena on siten toteuttaa parannettu menetelmä ja menetelmän toteuttava radiojärjestelmä paikannuksen tehostamiseksi. Tämän saavuttaa menetelmä paikannuksen suorittamiseksi radiojärjestelmässä, jossa lähetetään ainakin kahden eri kanavan kautta kanavan estimointiin soveltuvaa tunnistesignaalia; otetaan vastaan mainittuja ainakin kahta tunnistesignaalia; estimoidaan vastaanotettujen tunnistesignaalien avulla kanavien spatiaalinen leima; ja määritetään signaalien spatiaalisen leiman avulla vastaanottimen tai lähettimen paikkaan liittyvä tieto.

Keksinnön kohteena on myös radiojärjestelmä, joka käsittää lähet-  
 timenä ja vastaanottimena ainakin yhden tukiaseman ja päätelaitteen, joista  
 ainakin lähetin käsittää antennin, joka käsittää ainakin kaksi antennielement-  
 tiä, ja jossa radiojärjestelmässä suoritetaan paikannusta. Edelleen lähetin on  
 5 sovitettu lähettämään kanavan estimointiin soveltuvaa tunnistesignaalia aina-  
 kin kahden eri kanavan kautta; vastaanotin on sovitettu vastaanottamaan mai-  
 nittuja ainakin kahta tunnistesignaalia; vastaanotin on sovitettu muodosta-  
 maan vastaanotettujen tunnistesignaalien avulla kanavien spatiaalinen leima;  
 ja paikannusta varten radiojärjestelmä on sovitettu määrittämään signaalien  
 10 spatiaalisen leiman avulla vastaanottimen tai lähettimen paikkaan liittyvä tieto.

Keksinnön edulliset suoritusmuodot ovat epäitsenäisten patentti-  
 vaatimusten kohteena.

Keksintö perustuu siihen, että vastaanottimelle lähetetään vähin-  
 tään kahden eri kanavan kautta ainakin kahta ainakin osittain korreloimatonta  
 15 signaalia, joiden avulla estimoidaan kanavan spatiaalisen leima, jonka avulla  
 vastaanottimen ja lähettimen välinen suunta voidaan määrittää. Lähettimen tai  
 vastaanottimen sijainti voidaan myös määrittää.

Keksinnön mukaisen menetelmällä ja järjestelmällä saavutetaan  
 useita etuja. Radiojärjestelmän signalointi vähenee, mikä vähentää kapasitee-  
 20 tin tarvetta päätelaitteelta tukiasemalle. Myös paikannuksen tarkkuus paranee,  
 koska menetelmä mahdollistaa tarkkojen kanavaestimaattien ja/tai spatiaali-  
 sen leiman estimoinnin, ja niiden käytön paikannuksen apuna. Lisäksi ratkai-  
 su mahdollistaa myös tilanteen, jossa päätelaitteen ei välttämättä tarvitse sig-  
 naloida mitään tukiasemalle, minkä vuoksi päätelaite voi määrittää sijaintinsa  
 25 itse ilman että verkko-osa tietää, missä päätelaite sijaitsee. Toisaalta sijainti  
 voidaan määrittää myös verkko-osassa. Myös tukiaseman tai muun lähettimen  
 sijainti voidaan määrittää.

### Kuvioiden lyhyt selostus

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen  
 30 yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joissa

kuvio 1 esittää matkapuhelinjärjestelmän rakennetta,

kuvio 2 esittää solukkoradiojärjestelmää,

kuvio 3 esittää signaalien etenemistä tukiaseman ja päätelaitteen  
 välillä,

35 kuvio 4A esittää signaalien etenemistä tukiaseman ja päätelaitteen  
 välillä,

kuvio 4B esittää aaltorintaman suuntaa suhteessa referenssisuuntaan,

kuvio 5 esittää tukiaseman lähetinosan lohkokaaaviota, ja

kuvio 6 esittää päätelaitteen vastaanotinosan lohkokaaaviota.

## 5 Keksinnön yksityiskohtainen selostus

Esitettyjä toteutusmuotoja voidaan soveltaa tietoliikennejärjestelmissä, joissa käytetään lähetyksdiversiteettiä. Eräs tällainen tietoliikennejärjestelmä on laajakaistainen hajaspektritiedonsiirtoa käyttävä FDD- tai TDD-moodin WCDMA-radiojärjestelmä, keksintöä siihen kuitenkaan rajoittamatta.

- 10 Seuraavassa esimerkissä kuvataan keksinnön edullisia toteutusmuotoja laajakaistaista koodijakoista monikäyttömenetelmää käyttävässä universaalissa matkapuhelinjärjestelmässä.

- Viitaten kuvioon 1 selostetaan esimerkinomaisesti matkapuhelinjärjestelmän rakennetta. Matkapuhelinjärjestelmän pääosat ovat ydinverkko CN (Core Network), matkapuhelinjärjestelmän maanpäällinen radioliittymäverkko UTRAN (UMTS (Universal Mobile Telephone System) Terrestrial Radio Access Network) ja tilaajapääteläite UE (User Equipment). CN:n ja UTRAN:in välinen rajapinta on nimeltään lu, ja UTRAN:in ja UE:n välinen ilmarajapinta on nimeltään Uu.

- 20 UTRAN muodostuu radioverkkoalijärjestelmistä (radio network subsystem) RNS. RNS:ien välinen rajapinta on nimeltään Iur. RNS muodostuu radioverkkokontrollerista (radio network controller) RNC ja yhdestä tai useammasta B-solmusta (node B) B. RNC:n ja B:n välinen rajapinta on nimeltään Iub. B-solmun kuuluvuusalueita eli solua merkitään kuviossa C:llä.

- 25 Kuviossa 1 esitetty kuvaus on melko yleisellä tasolla, joten sitä selvennetään kuviossa 2 esitetyllä tarkemmalla esimerkillä solukkoradiojärjestelmästä. Kuvio 2 sisältää vain oleelliset lohkot, mutta alan ammattimiehelle on selvää, että tavanomaiseen solukkoradioverkkoon sisältyy lisäksi muitakin toimintoja ja rakenteita, joiden tarkempi selittäminen ei tässä ole tarpeen. Huomattakoon myös, että kuviossa 2 on esitetty vain eräs esimerkkirakenne. Keksinnön mukaisissa järjestelmissä saattavat yksityiskohdat poiketa kuviossa 2 esitetyistä, mutta keksinnön kannalta näillä eroilla ei ole merkitystä.

- 35 Solukkoradioverkko käsittää siis tyypillisesti kiinteän verkon infrastruktuurin eli verkko-osan 100, ja tilaajapäätelaitteita 102, jotka voivat olla kiinteästi sijoitettuja, ajoneuvoon sijoitettuja tai kannettavia mukana pidettäviä päätelaitteita. Verkko-osassa 100 on tukiasemia 104. Tukiasema vastaa edellisen

kuvion B-solmua. Useita tukiasemia 104 keskitetysti puolestaan ohjaa niihin yhteydessä oleva radioverkkokontrolleri 106. Tukiasemassa 104 on lähetinvastaanottimia 108 ja multiplekseriyksikkö 112.

Tukiasemassa 104 on edelleen ohjausyksikkö 110, joka ohjaa lähetinvastaanottimien 108 ja multiplekserin 112 toimintaa. Multiplekserillä 112 sijoitetaan useiden lähetinvastaanottimien 108 käyttämät liikenne- ja ohjauskanaavat yhdelle siirtoyhteydelle 114. Siirtoyhteys 114 muodostaa rajapinnan lub.

Tukiaseman 104 lähetinvastaanottimista 108 on yhteys antenniyksikköön 118, jolla toteutetaan kaksisuuntainen radioyhteys 116 tilaajapäätelaitteeseen 102. Kaksisuuntaisessa radioyhteydessä 116 siirrettävien kehysten rakenne on järjestelmäkohtaisesti määritetty, ja sitä kutsutaan ilmarajapinnaksi Uu.

Radioverkkokontrolleri 106 käsittää ryhmäkytkentäkentän 120 ja ohjausyksikön 122. Ryhmäkytkentäkenttää 120 käytetään puheen ja datan kytkentään sekä yhdistämään signalointipiirejä. Tukiaseman 104 ja radioverkkokontrollerin 106 muodostamaan radioverkkoalijärjestelmään 124 kuuluu lisäksi transkooderi 126. Transkooderi 126 sijaitsee yleensä mahdollisimman lähellä matkapuhelinkeskusta 128, koska puhe voidaan tällöin siirtokapasiteettia säästään siirtää solukkoradioverkon muodossa transkooderin 126 ja radioverkkokontrollerin 106 välillä.

Transkooderi 126 muuntaa yleisen puhelinverkon ja radiopuhelinverkon välillä käytettävät erilaiset puheen digitaaliset koodausmuodot toisilleen sopiviksi, esimerkiksi kiinteän verkon muodosta solukkoradioverkon johonkin muuhun muotoon ja päinvastoin. Ohjausyksikkö 122 suorittaa puhelunohjausta, liikkuvuuden hallintaa, tilastotietojen keräystä ja signalointia.

Kuviossa 2 kuvataan edelleen matkapuhelinkeskus 128 ja yhdyskeskus 130, joka hoitaa matkapuhelinjärjestelmän yhteydet ulkopuoliseen maailmaan, tässä yleiseen puhelinverkkoon 132.

Tarkastellaan nyt esitettyä ratkaisua kuvion 3 avulla. Radiojärjestelmä käsittää ainakin yhden tukiaseman 300 - 302 ja ainakin yhden päätelaitteen 304 - 306. Esitetyssä ratkaisussa tukiasema 300 käsittää ryhmäantennin 310, joka käsittää L antennielementtiä. Antennielementtejä on kuitenkin vähintään kaksi. Myös päätelaite 304 voi käsittää ryhmäantennin 312, jossa on N antennielementtiä. Päätelaitteen 304 antennielementtien vähimmäismäärä on yksi eli päätelaite 304 ei välttämättä tarvitse ryhmäantennia.

Esitetyssä ratkaisussa tukiaseman 300 ainakin kaksi antennielementtiä 310 tai lähetysantennireittiä (tämä voi olla keila tai yksittäinen antenni),



lähettää toisistaan poikkeavaa tunnistesignaalia, jota päätelaite vastaanottaa. Tunnistesignaalit suunnataan halutulla tavalla kertomalla lähetettävät signaalit kompleksisilla painokertoimilla  $\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_L]$ , missä  $L$  tarkoittaa antennielementtien määrää. Kompleksiset painokertoimet eri tunnistesignaaleille ovat edullisesti ortogonaalisia keskenään, jolloin tunnistesignaalit saadaan katta-

- 5 maan koko solun tai sektorin peittoalue. Esimerkiksi ULA:n (Uniform Linear Array) tapauksessa painokertoimet  $\mathbf{w}$  voidaan esittää myös lähetyssuunnalla parametrisoidussa muodossa:
- $$\mathbf{w}(\theta) = [1, e^{j2\pi d \sin(\theta)/\lambda}, \dots, e^{j2\pi(L-1)d \sin(\theta)/\lambda}]^T / \sqrt{L}, \quad (1)$$
- 10 missä kertoimet on suhteutettu ensimmäisen antennin kertoimeen,  $\theta$  parametrisoi lähetyssuunnan ja  $d$  on antennielementtien etäisyys toisistaan. Eri antennigeometrioille on tyypillisesti eri parametrisaatio. Tunnistesignaalien muodostamat keilat ovat edullisesti ortogonaalisia, jolloin  $\mathbf{w}(\theta_1)^T \cdot \mathbf{w}(\theta_2) = 0$ , missä  $L$ -ulotteiset vektorit  $\mathbf{w}(\theta_1)$  ja  $\mathbf{w}(\theta_2)$  kuvaavat tunnistesignaalien painokertoimia eri
- 15 antennielementeissä. Voidaan myös olettaa, että eri tunnistesignaalit lähetetään eri antennielementeistä.

- Yleisesti ottaen eri kanaviin eri keilojen tai eri antennielementtien kautta lähetetyt tunnistesignaalit voivat olla toistensa suhteen ortogonaalisia, korreloimattomia tai riippumattomia, mikä mahdollistaa kanavaparametrien es-
- 20 timoinnin päätelaitteessa. Tunnistesignaalit ovat esimerkiksi pilottisignaaleita, jotka vastaanotin ennalta tietää mutta joilla on toisistaan poikkeava koodaus, taajuus, lähetyssajanhetki tai lähetyssuunta. Esimerkiksi, 3G WCDMA systeemissä Common Pilot Channel (CPICH) signaalit toteuttavat tämän ehdon, kun käytössä on lähetyssantennidiversiteetti. Tunnistesignaalit voidaan erottaa toisistaan vastaanotettaessa ja signaalien impulssivaste on estimoitavissa vastaanottavassa yksikössä. Signaalit ovat edullisesti antennielementille (tai kei-
- 25 loille) ominaisia ortogonaalisia CPICH-pilottisignaaleita, jotka voidaan toteuttaa ortogonaalisilla kanavointikoodeilla tai ortogonaalisien symbolisekvenssien avulla. Koska antenneista (tai antennikeiloista) lähetetyt signaalit erottuvat vastaanotossa toisistaan, signaalien kanavien ja erityisesti kanavien paikkaan liittyvä tieto (paikkaan liittyvät ominaisuudet) voidaan mitata eli signaalien spatiaalinen leima (spatial signature) voidaan estimoida. Signaalien spatiaalista leimaa on tarkemmin selitetty patenttijulkaisussa US 6064339, joka otetaan tähän viitteeksi. Signaalin spatiaalisena leimana voidaan käyttää esimerkiksi
- 30 kanavaa kuvaavaa hetkellistä estimaattia, usean kanavaestimaatin keskiarvoa, tai jotain muuta kanavan rakennetta kuvaavaa ominaisuutta. Erityisen

edullista on käyttää spatiaalisena leimana kuitenkin suuretta, joka riippuu pääasiassa päätelaitteen paikasta, eikä hetkellisestä häipymätilanteesta. Tällainen suure saadaan käyttämällä useaa ei-korreloitunutta tai vähän korreloivaa kanavamatriisia, joiden avulla signaalin paikkaan liittyvä rakenne saadaan estimoitua. Erityisesti voidaan laskea keskiarvo useasta kovarianssimatriisista (missä käytetään ainakin kahta mittausajanhetkeä, joiden väli ylittää kanavan aikakoherenssiajan, ja/tai vähintään kahta kovarianssimatriisia, jotka on estimoitu eri lähetystaajuuksilta, ja/tai vähintään kahta vastaanottoantennia, missä kovarianssimatriisit estimoitu vastaavasti eri antenneista), joista voidaan laskea signaalin tai kanavan virittämä aliavaruus, johon hetkellinen häipymä ei oleellisesti vaikuta. Päätelaite siis estimoi tyypillisesti spatiaalisen leiman laskemiseen tarvittavat suureet käyttäen vähintään kahdesta tukiaseman keilasta (tai antennielementistä) estimoitua kanavaa.

Tarkastellaan nyt tukiaseman 300 antennielementeistä 1 ja L lähtevää signaalia, joka etenee päätelaitteen 304 antennielementille 1. Muille tukiaseman ja päätelaitteen antennielementtien välisille signaaleille voidaan suorittaa samanlainen tarkastelu. Koska signaalit etenevät useita polkuja pitkin, voidaan kutakin polkua pitkin edenneeseen signaaliin liittyvä kanava esittää kanavaa kuvaavalla estimaatilla, jollainen on esimerkiksi kanavaestimaattivektori (esim. diskretoitu impulssivaste)  $\mathbf{h}$ . Kun päätelaite 304 voi huomioida  $M$  polkua, voidaan vastaavasti kuhunkin signaaliin liittyen määrittää  $M$  kanavaa kuvaavaa estimaattia. Näin antennielementistä 1 lähtevään signaaliin liittyy kanavaestimaatit  $h_{11}, \dots, h_{12}, \dots, h_{1M}$  ja antennielementistä  $L$  lähtevään signaaliin liittyvät kanavaestimaatit  $h_{L1}, \dots, h_{L2}, \dots, h_{LM}$ , missä esimerkiksi alaindeksi 31 tarkoittaa tukiaseman antennielementistä 3 päätelaitteen antennielementtiin 1 tulevan signaalin ensimmäisen polun kanavaestimaattia. Päätelaitteessa voi olla useampi kuin yksi antennielementti, jolloin vastaavasti saadaan estimaatit kaikkien lähetysantennien ja vähintään päätelaitteen yhden antennielementin välille.

Tarkastellaan nyt kuvion 4A avulla tilannetta, jossa tukiasemalla 400 on vain kaksi antennielementtiä 1 ja 2 ja päätelaitteella 404 on vain yksi antennielementti. Tällöin muodostetaan vähemmän kanavaestimaatteja ja samalla voidaan pitäytyä edellisessä kanavaestimaattien indeksoinnissa. Kun vastaanottimessa on vain yksi antennielementti ja lähettimessä  $L$  antennielementtiä, kanavaestimaatit voidaan esittää kanavamatriisina  $\mathbf{H}$ , joka on yleisessä muodossaan  $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \dots \mathbf{h}_L]^T \in \mathbb{C}^{L \times M}$ , missä  $\mathbf{h}_1, \dots, \mathbf{h}_L$  ovat eri lähetysanten-

nielementteihin liittyviä kanavaestimaattivektoreita tai muita kanavaa kuvaavia termejä ja esim.  $\mathbf{h}_1 = [h_{11} \dots h_{1M}]^T$ , missä  $h_{11}$  on kanavaestimaatin ensimmäinen ajallinen tappi eli lyhintä viivettä vastaava tappi ja  $h_{1M}$  on kanavaestimaatin viimeinen tappi eli suurinta viivettä vastaava tappi. Kuvion 4A tapauksessa, jossa  $L = 2$ , kanavamatriisiksi saadaan siis

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1M} \\ h_{21} & \dots & h_{2M} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Kanavamatriisi voidaan ilmaista myös viivekohtaisten vektorien avulla. Tällöin kanavamatriisin  $m$ . sarake, joka vastaa viivekomponenttia  $m$ , esitetään omana vektorinaan, ja kanavamatriisi voidaan kirjoittaa muotoon  $\mathbf{H} = [\mathbf{v}_1 \dots \mathbf{v}_M]$ . Toisistaan poikkeavien signaalien kanavaa kuvaavat estimaatit riippuvat lähettimen ja vastaanottimen sijainnista toistensa suhteen eli kanavaa kuvaavat estimaatit toimivat signaalien leimana. Jotta paikantaminen olisi mahdollista, eri antennielementeistä lähetettyjä signaaleita on verrattava toisiinsa kanaviin liittyvien estimaattien avulla. Kahden stokastisen prosessin, jollaisia kanavaan liittyvät estimaatit ovat, vertaaminen voidaan suorittaa esimerkiksi korrelaation tai kovarianssin avulla, koska korrelaatio ja kovarianssi ilmaisevat stokastisten prosessien välisen suhteellisen riippuvuuden.

Yhtenä erityisen edullisena mahdollisuutena verrata eri signaaleita toisiinsa on käyttää spatiaalista kovarianssimatriisia  $\mathbf{R}$ , joka ilmaisee signaalien samanlaisuuden asteen eri antennielementtien välillä. Ainakin kahden erilaisen signaalin kanavia kuvaavan spatiaalinen kovarianssimatriisi  $\mathbf{R}$  voidaan määrittellä seuraavasti:

$$\mathbf{R} = \mathbf{H}\mathbf{H}^H = c \sum_{i=1}^M \mathbf{v}_i \mathbf{v}_i^H \quad (3)$$

missä  $\mathbf{H}$  on kanavamatriisi ja  $c$  jokin normalisointi vakio (esim.  $c = 1/L$ ). Spatiaalista kovarianssimatriisia  $\mathbf{R}$  muodostettaessa voidaan huomioida kanavamatriisin kaikki alkioita tai jokin osajoukko riveistä ja sarakkeista. Aliavaruus voidaan edullisesti laskea lyhintä kulkuaikaa eli viivettä ( $M = 1$ , olettaen että ensimmäinen indeksi vastaa ensimmäistä detektoitua polkua) vastaavista kanavaestimaatin alkioista, koska lyhin signaalin viive todennäköisimmin tarkoittaa suoraa näköyhteyttä ja siten todellinen geometrinen etäisyys voidaan määrittää. Lisäksi voidaan laskea edellä kuvattu kovarianssimatriisi kullekin ajallisesti erilliselle viivekomponentille, jolloin saadaan  $M$  erillistä kovarianssimatriisia, joita voidaan käyttää laskettaessa signaalin spatiaalinen leima.

Edelläkuvattu kovarianssimatriisin laskenta hyödyntää vain yhtä kanavaestimaattia, mikä on luonnollisesti voitu estimoida käyttäen useampaa kanavarealisaatiota. Tässä on haittapuolena se, että yksittäiseen estimaattiin vaikuttaa erittäin paljon signaalien satunnainen yhdistyminen kanavassa, mikä näkyy signaalin häipymänä yksittäisessä kanavaestimaatin arvossa. Häipymä tyypillisesti muuttuu satunnaisesti, kun vastaanotinta siirretään vain muutama senttimetri tai jos signaali lähetetään eri taajuudella. Esitetyssä ratkaisussa halutaan päätelaite paikantaa kuitenkin niin, että yksittäinen häipymäarvo ei dominoi tai vääristä paikkaestimaattia. Tämä saavutetaan sillä, että edellämainittuja kovarianssimatriiseja edelleen keskiarvoistaan usean ajanhetken yli (keskiarvoistusaika edullisesti pidempi kuin kanavan koherenssiaika), tai taajuuden yli (jolloin kanavamittaukset ja kovarianssimatriisit lasketaan käyttäen vähintään kahdella taajuudella lähetettyjä tunnistesignaaleja) tai useamman eri vastaanottoantennin kovarianssimatriisin yli, jolloin yksittäiseen arvoon vaikuttavan häipymän vaikutus pienenee signaalin spatiaalista leimaa estimoitaessa. Näin lasketun keskiarvoistetun tai suodatetun kovarianssimatriisin suurinta ominaisarvoa vastaavaa ominaisvektoria voidaan käyttää hyväksi määrittäessä suunta lähettimeltä (= usein tukiasema mutta voi olla myös päätelaite) vastaanottimelle (= usein päätelaite mutta voi olla myös tukiasema). Vaihtoehtoisesti voidaan laskea usealle viivekomponentille oma kovarianssimatriisi em. tavalla suodatettuna, ja käyttää myös signaalin aikadispersiota ja eri kovarianssimatriisien ominaisarvojen (suhteellista) suuruutta spatiaalisen leiman muodostamisessa. Tällöin määritetään esimerkiksi sellainen viivepolku, jonka ominaisarvon energia on suurin tai jonka ominaisarvojen energia ylittää ennalta määrätyn kynnyksen.

Lisäksi on huomattava, että kovarianssimatriiseja välttämättä ei tarvitse keskiarvoistaa, vaan sen sijasta niitä voidaan yhdistää rekursiivisella suodatuksella. Lisäksi edelläkuvatut ominaisvektorit ja ominaisarvot voidaan laskea myös sinänsä tunnetun singulaariarvohajotelman avulla, jolloin kun olemme kiinnostuneita nimenomaan ominaisarvoista tai ominaisvektoreista, kovarianssimatriisin eksplisiittinen laskeminen voidaan välttää. Tätä on kuvattu tarkemmin esimerkiksi julkaisussa "Solving the SVD updating problem for subspace tracking on a fixed size of linear array of processors," by C. Sengupta, J. R. Cavallaro, and B. Aazhang, International Conference on Acustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Vol. 5, pp. 4137-4140, Munich, April

1997. Tässä hakemuksessa esitettyä ratkaisua kuvataan kuitenkin kovarianssimatriisien avulla.

Kovarianssimatriisia voidaan siis keskiarvoistaa ja merkitä  $\mathbf{R} = E\langle \mathbf{H}^H \mathbf{H} \rangle$ , missä  $E\langle \mathbf{H}^H \mathbf{H} \rangle$  tarkoittaa odotusarvoa tulosta  $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$  ja  $\mathbf{H}^H$  on matriisin  $\mathbf{H}$  transponoitu kompleksikonjugaatti eli matriisin  $\mathbf{H}$  Hermiten-matriisi. Keskiarvoistaminen tai suodatus voidaan esimerkiksi suorittaa siten, että uusimpia kanavaestimaatteja painotetaan enemmän kuin vanhempia kanavaestimaatteja esimerkiksi seuraavalla tavalla:

$$R_n(i) = \rho R_n(i-1) + (1-\rho) v_n(i) v_n^H(i), \quad (4)$$

missä  $\rho$  on unohduskerroin (forgetting factor),  $i$  on kovarianssimatriisin päivitysindexi ja  $n$  on aikaviiveen indexi. Määritettäessä signaalin spatiaalinen leima kanavan virittämien keskimääräisten aliavaruuksien mukaan tulee unohduskertoimen olla suuri. Jos painotetaan viimeisimpiä kanavarealisaatioita tulee unohduskertoimen olla pieni.

Oletetaan nyt että kovarianssimatriisi on laskettu jollain edellämainituista arvoista. Haluttujen polkujen lähetyssuunta vastaanottimelle määrittää esimerkiksi siten, että maksimoidaan suunnan  $\theta$  suhteen vastaanotettu teho  $P$  lausekkeessa  $P = \mathbf{w}^H(\theta) \mathbf{R} \mathbf{w}(\theta)$  eli haetaan  $\max_{\theta} P = \max_{\theta} [\mathbf{w}^H(\theta) \mathbf{R} \mathbf{w}(\theta)]$ , mis-

sä muuttuvana parametrina on lähetyssuunnan parametri  $\theta$  ja  $\mathbf{w}(\theta)$  on lähetyssuunnan  $\theta$  (tai sen parametrin) määrittävä painokerroinvektori. Lähetyssuunta voidaan laskea myös suoraan edellä mainitun suurimman ominaisarvovektorin määrittämällä spatiaalisen leiman avulla, vertaamalla sitä mahdollisiin lähetyssuuntavektoreihin ja valitsemalla se, mikä on annetun metriikan mielessä lähinnä. Annettu metriikka voi olla esim. euklidinen metriikka, ominaisvektorien ja lähetyssuuntavektorin virittämien aliavaruuksien etäisyys (esim. projektioiden pituus vaihtoehtoisille aliavaruuksille) tms. sinänsä tunnettu metriikka. Painokertoimet voidaan kvantisoida suunnan  $\theta$  suhteen halutulla resoluutiolla. Se lähetyssuunta  $\theta$ , jolla vastaanotettu teho on suurin, vastaa suuntaa, jossa vastaanotin on lähettimestä katsottuna. On huomattava, että suunnan laskemiseen vaikuttaa se, mistä viivekomponenteista em. kovarianssimatriisi lasketaan. Yleisesti voidaan käyttää kaikkia suuntia ja niiden viiveitä paikan määrittämisessä, mutta usein ensimmäisen dominoivan polun käyttö riittää. Laskettu suuntaparametri  $\theta$  on suhteessa johonkin lähettimen diversiteettiantennin referenssisuuntaan, joka on ympäristön suhteen tavallisesti muuttumaton. Käytettäessä ULA-antennirakennetta voidaan signaali parametrisoida mallilla:

$$\mathbf{a}(\theta_m) = [1 \exp(-j2\pi d \sin(\theta_m)/\lambda_c) \exp(-j4\pi d \sin(\theta_m)/\lambda_c) \dots \exp(-j2\pi(L-1)d \sin(\theta_m)/\lambda_c)]^T \quad (5)$$

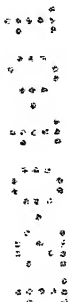
missä parametri  $\theta_m$  on m:nnen polun lähetyssuuntaan. Kun elementit ovat etäisyydellä  $d = \lambda_c/2$ , toisistaan tämä voidaan kirjoittaa muotoon:

5

$$\mathbf{a}(\theta_m) = [1 \exp(-j\pi \sin(\theta_m)) \exp(-j2\pi \sin(\theta_m)) \dots \exp(-j\pi(L-1)\sin(\theta_m))]^T \quad (6)$$

missä  $\lambda_c$  on kantoaallon aallonpituus. Kuvio 4B esittää 4-elementistä ULA-antennirakennetta, jossa elementtien välimatka  $d$  on puolet aallonpituudesta,  $d = \lambda_c/2$ . Vinot nuolet tarkoittavat lähetetyn aaltorintaman suuntaa ja pystysuora nuoli tarkoittaa referenssisuuntaa. Lähetetyn aaltorintaman ja referenssisuunnan välinen kulmaa on  $\theta$ . Viimeinen antennielementti on referenssiantennielementti.

Edellämainitusta esimerkistä nähdään, että päätelaite voi laskea lähetyssuunnan (tai jonkin siihen liittyvän parametrin) suhteessa lähettimen antennien paikkoihin (esim. ULA:n suuntaan) käyttäen tunnistesignaaleja. Jos päätelaite ei tiedä tukiaseman antennirakenteesta ja/tai sen referenssiantennien paikoista, tulee suuntatieto tai spatiaalinen leima (esim. ominaisvektori tai ominaisvektorit kvantisoituna) signaloida tukiasemalle, joka luonnollisesti tuntee parametrisaation ja referenssiantennien paikat. Tällöin verkko-osa tai tukiasema voi määrittää absoluuttisen lähetyssuunnan. Jos paikannus halutaan tehdä kokonaan päätelaitteessa, tulee tukiaseman signaloida (esim. jollakin yleisellä kanavalla) riittävästi tietoa (referenssiantennien paikat, antennien parametrisaatio, tms.) päätelaitteelle. Vastaanottimen sijainti lähettimen suhteen voidaan määrittää, kun tiedetään vastaanottimen suunta ja etäisyys lähettimestä, tai jos on käytössä kaksi eri referenssiantenniryhmää (samassa tai eri tukiasemassa) voidaan paikka määrittää ilman etäisyystietoa. Samoin lähettimen (tunnistesignaalia lähettävän aseman) sijainti vastaanottimen suhteen voidaan määrittää, kun tiedetään vastaanottimen ja lähettimen välinen suunta ja etäisyys, tai kaksi suuntaa, tai molemmat yhdessä. Tällöin tyypillisesti ei tarvita absoluuttista suuntaa vaan lähinnä reitti paikkaan, josta tunnistesignaali lähetetään. Paikka voidaan määrittää spatiaalisen leiman avulla vertaamalla estimoitua spatiaalista leimaa ennalta tunnettuihin spatiaalsiin leimoihin ja määrittämällä paikaksi sellainen paikka, jonka ennalta tunnettu spatiaalinen leima on lähinnä estimoitua spatiaalista leimaa. Laskennassa voidaan huomioida ominaisvektorit ja kullekin viiveelle lasketut ominaisarvot, tai niiden teho-



jen suhteet. Lisäksi, voidaan huomioida saman tukiaseman tai eri tukiasemien tunnistesignaalien lähetystehot spatiaalisen leiman laskennassa. Näin voidaan esimerkiksi normalisoida spatiaalisen leima niin, että eri spatiaalisen leimojen laskennassa käytetään kanavaparametrien paikalla elementtejä, jotka riippu-  
 5 vat vain välimatkan aiheuttamasta vaimennuksesta eivätkä vastaanottotehosta (vastaanottoteho muuttuu, jos tunnistesignaalit lähetetään eri tehotasoilla).

Lähettimen ja vastaanottimen välinen etäisyys voidaan määrittää sinänsä tunnetun tekniikan avulla esimerkiksi mittaamalla signaalin kulku-aika. Lisäksi spatiaalisen leiman laskennassa saatavat ominaisarvot tyypillisesti  
 10 pienenevät, kun päätelaite on kauempana tukiasemasta, ja tätä tietoa voi myös hyödyntää viivemittausten ohella. Samoin kun tiedetään lähettimen (tukiaseman) sijainti ympäristön suhteen (esimerkiksi pituus- ja leveyspiirin koordinaatit maapallolla tai muut karttakoordinaatit), voidaan vastaanottimen sijainti ympäristön suhteen määrittää. Tukiasema luonnollisesti tietää nämä  
 15 parametrit ja eräässä edullisessa toteutusmuodossa nämä voidaan signaloida päätelaitteelle, jolloin päätelaitteen paikannus voidaan tehdä niin, että vain päätelaite tietää päätelaitteen paikan (verkko-osa ei tällöin tiedä päätelaitteen sijaintia). Tällöin päätelaitteen ei myöskään tarvitse lähettää em. parametreja verkko-osalle tai tukiasemalle, ja päätelaite voi paikantaa itsensä jopa olles-  
 20 saan idle-moodissa s.o. ilman yhteyttä verkko-osaan.

Tarkastellaan nyt lähemmin tukiasemaa kuvion 5 avulla. Tukiasema käsittää kaksi antennielementtiä 500 ja 502. Yleisessä ratkaisussa tukiasemassa on  $L$  antennielementtiä, missä  $L \geq 2$ . Eri antennielementeistä lähtevät signaalit, jotka ovat edullisesti pilottisignaaleita, voidaan tehdä toistensa suh-  
 25 teen ortogonaalisiksi koodaamalla signaalit eri ortogonaalisilla koodeilla koodausvälineissä 504 - 506. Ortogonaalisuus ei ole välttämätöntä, mutta se helpottaa kanavaparametrien estimointia päätelaitteessa. Ortogonaalisia koodausmenetelmiä on esimerkiksi Hadamard-koodaus ja space-time-lohkokoodaus. Lisäksi voidaan lähettää joku tunnettu pilotsekvenssi eri anten-  
 30 neista tai keiloista vuoronperään (pilottisignaalin hyppely). Toistensa suhteen ortogonaaliset Hadamard-symbolit muodostetaan CDMA-järjestelmän lähettimessä tunnetun tekniikan mukaisesti siten, että tietty määrä lähetettäviä bittejä muutetaan numeroiksi, joita kutakin käytetään osoittamaan yhteen Hadamard-matriisin rivistä, jotka ovat toistensa suhteen ortogonaalisia.

35 Signaalit etenevät edelleen kertojille 508 ja 510, joissa lähetettävät signaalit kerrotaan kompleksisilla painokertoimilla  $w_1 - w_L$ , missä  $L$  on anten-

nielementtien (tai keilojen) lukumäärä (kuvion 5 tapauksessa 2). Pilottisignaali koodataan hajotuskoodilla hajotuskoodausvälineissä 512 - 514. Pilottisignaali voidaan koodata toisistaan poikkeavilla hajotuskoodaustavallilla hajotuskoodausvälineissä 512 - 514 erityisesti siinä tapauksessa, että signaaleita ei ole koodattu toisistaan poikkeavilla koodaustavallilla koodausvälineissä 504 - 506 tai jos signaaleilla ei ole toisistaan poikkeavaa symbolisekvenssiä. Toisistaan poikkeavat koodit ovat edullisesti toistensa suhteen ortogonaalisia. Pseudo-ortogonaalinen koodaus on myös mahdollinen, mikä saadaan aikaan esimerkiksi vaiheistamalla hajotuskoodi tai symbolisekvenssi eri tavalla eri antennielementteihin menevissä signaaleissa. Tämän jälkeen signaalit sekoitetaan radiotaajuudelle radiotaajuusvälineissä 516 - 518 ja radiotaajuiset signaalit lähetetään antennielementtien 500 - 502 kautta. Lähetettävät tunnistesignaalit voidaan tehdä toisiaan häiritsemättömiksi (korreloimattomiksi) myös sekoittamalla signaalit eri taajuudelle radiotaajuusvälineissä 516 - 518. Lisäksi tunnistesignaalit voidaan tehdä toisiaan häiritsemättömiksi lähettämällä tunnistesignaalit eri aikaan eri antennielementeistä 500 - 502. Yleisessä tapauksessa sama pilottisignaali voidaan lähettää eri antennielementeistä eri ajanhetkellä (pilottisignaalin hyppely).

Edelleen käyttämällä erilaisia painokertoimia  $w_1 - w_L$  eri peräkkäisinä ajanhetkinä voidaan esimerkiksi muodostaa kapea vastaanottokeila, jota pyöritetään esimerkiksi  $360^\circ$  ympäri tukiasemaa. Tällöin päätelaite kuulee eri ajanhetkinä eri suuntiin suunnatun pilottisignaalin ja signaalien spatiaalinen leima on mahdollista muodostaa ja sijainnin määrittäminen on mahdollinen. Jos kunkin suuntaan lähetetään esimerkiksi eri aikaväleissä, riittää että päätelaite kertoo aikavälin indeksin, jossa estimoitu kanava (tai sen ensimmäinen dominoiva polku) on vahvin. Tukiasema tietää tämän perusteella vastaavan lähetys suunnan.

Tarkastellaan nyt CDMA-vastaanotossa käytettyä rakevastaanotinta kuvion 6 avulla. Antennielementtien 600 - 602 kautta vastaanotetaan monitie-edennyt signaali. Antennielementtejä on  $L$  kappaletta. Kuviossa 6 on kuvattuna vain kaksi antennielementtiä, mutta antennielementtejä voi olla yksi tai useampia. Matkapuhelimena toimivassa päätelaitteessa on tavallisesti vain yksi antennielementti. Kustakin antennielementistä 600 - 602 vastaanotettu signaali muunnetaan radiotaajuusosissa (joita ei ole kuviossa 6 kuvattu) kantataajuiseksi.



Signaali viedään edelleen viive-estimaattoriin 604, joka käsittää sovitetun suodattimen 606 - 608 kutakin antennielementtiä varten. Viive-estimaattorissa 604 haetaan vastaanotetun signaalin monitie-edenneiden signaalikomponenttien viiveet ja määritetään signaalin kulku-aika. Viive-estimaattorissa oleva allokattori 610 valitsee laskettujen korrelaatioiden perusteella viiveet, jolla rake-haarojen 612A - 612B hajotuksen purkuvälineet 614 - 616 purkavat hajotuskoodauksen. Esimerkiksi Hadamard-koodausta purettaessa vastaanotettu signaali (vastaa Hadamard-matriisin riviä) kerrotaan Hadamard-matriisilla. Kertominen vastaa Hadamard-matriisin ja lähetetyn signaalin välistä korrelaatiota, jossa muodostuneen korrelaatiovektorin maksimiarvon paikka eli indeksi vastaa lähetettyjen bittien arvoa. Tässä esimerkissä allokattujen rake-haarojen 612A - 612B lukumäärä on  $N$ . Kukin rake-haara 612A - 612B käsittelee yhtä monitie-edennyttä signaalikomponenttia tietyllä koodiviiveellä.

Kussakin rake-haarassa 612A - 612B on kanavaestimaattori 618, jolla määritetään kanavaestimaatti  $\mathbf{h}$ , missä on komponentti kullekin lähetyssantennille. Kanavaestimaattori 618 muodostaa myös eri antennielementtien 600 - 602 vastaanottamien signaalien kompleksiset painokertoimet  $q_1 - q_N$ , kun antennielementtejä on enemmän kuin yksi. Käytettäessä vain yhtä antennielementtiä painokerrointa ei tarvita. Kertomalla kertojissa 620 eri antennielementeiltä 600 - 602 tulevat signaalit erilaisilla painokertoimilla  $q_1 - q_N$  voidaan vastaanottokeilan muotoa ja suuntaa muuttaa. Kanavaestimaatit syötetään spatiaalisen leiman estimaattoriin 628, joka muodostaa yhden tai useamman kanavaestimaatin avulla signaalien spatiaaliseen leimaan liittyvän kovarianssimatriisin  $\mathbf{R}$  tai sen ominaisvektorit, joista saadaan laskettua spatiaalinen leima tai jokin sen parametrisaatio kuten lähetyssuunta-parametrit (DoT). Vastaanottimen suunta ja sijainti määritetään esitetyllä tavalla lohkoissa 630 (joka voi sijaita joko tukiasemassa tai päätelaitteessa riippuen siitä, mitä signaloidaan) käyttämällä mahdollisesti hyväksi sinänsä tunnettuja DOA-mittausta, AOA-mittausta, TOA-mittausta tai TDOA-mittausta. Lohkolla 630 on lisäksi käytettävissä tieto antennirakenteesta, sen parametrisaatiosta ja referenssiantennien paikoista tai pilottisignaalien absoluuttisista lähetyssuunnista ja mahdollisesti myös tehoista.

Rake-haarassa 612A - 612B viimeksi sijaitsevalla antennihaara-summaimella 622 yhdistetään painotetut pilottisignaalikomponentit yhdeksi pilottisignaalksi. Jos antennielementtejä on useita, rake-vastaanottimessa on

lisäksi rake-haarasummain 624, jolla yhdistetään eri viiveillä toimivien rake-haarojen 612A - 612B pilotti-signaalit summapilottisignaaliiksi.

Summapilottisignaali, samoin kun yksittäinen pilottisignaali, voidaan edelleen viedä signaali/interferenssi-suhteen estimoijaan 626, jossa estimoidaan kyseisen kanavan tai summakanavan signaali/interferenssi-suhde. Saa-  
 5 dulla kyseisen kanavan signaali/interferenssi-suhteella voidaan ohjata suljetun silmukan tehonsäätöä. Yksittäisen polun signaali/interferenssisuhdetta tai signaalin tehoa voidaan käyttää, kun määritetään ensimmäinen dominoiva polku.

Kun vastaanotin käsittää useita antennielementtejä ja kun signaalia  
 10 on otettu eri suunnista vastaan, voidaan signaali/interferenssi-suhteen estimoi-  
 jassa 626 määrittää paras vastaanottosuunta AoA (Angle of Arrival) tai vastaanottosuunta DOA (Direction of Arrival). Tämä määrittäminen voidaan suorittaa käyttämällä esimerkiksi EVD-menetelmää (Eigen Value Decomposi-  
 15 tion) ja jotain alivaruuteen perustuvaa algoritmia. Sinänsä tunnettu MUSIC-  
 algoritmi (MUltiple Signal Classification) on yksinkertaisin ja usein käytetty ali-  
 avaruuteen perustuva algoritmi. Tällaista vastaanottosuunnan estimointia on tarkemmin kuvattu julkaisussa Solving the SVD updating problem for subspa-  
 ce tracking on a fixed sized linear array of processors, C. Sengupta, J. R. Ca-  
 vallaro, B. Aazhang, IEEE International Conference on Acoustics, Speech,  
 20 and Signal Processing, ICASSP-97, vol. 5, p. 4137 - 4140, 1997, joka otetaan tähän viitteeksi. Vertaamalla vastaanottosuuntaa siihen, mihin suuntaan sig-  
 naali on lähettimestä lähetetty, voidaan tietää, onko lähettimen ja vastaanotti-  
 men välillä suora näköyhteys (line of sight). Jos näköyhteys on olemassa, si-  
 jainti voidaan määrittää luotettavammin. Lisäksi edellä mainittuja mittauksia  
 25 voidaan yhdistää tukiaseman laskemiin vastaaviin parametreihin.

Lisäksi paikanmäärittäksessä voidaan käyttää hyväksi sinänsä tun-  
 nettua TOA-mittausta, joka avulla voidaan määrittää signaalin kulkuaika lähet-  
 timen ja vastaanottimen välillä. Samoin paikanmäärittäksessä voidaan käyttää  
 hyväksi sinänsä tunnettua TDOA-mittausta. Yhdistämällä tunnettu paikan  
 30 määrittäysratkaisu esitettyyn ratkaisuun voidaan paikanmäärittästä tarkentaa.

Jos päätelaite määrittää itse sijaintinsa, etuna on se, että sijaintitieto  
 ei tule kenenkään muun tietoon. Vastaavasti siinä tapauksessa, että päätelaite  
 ei itse määritä sijaintiaan, päätelaite signaloi esimerkiksi IMT-2000-tekniikassa  
 käytettävää suljetun silmukan takaisinkytkentää soveltaen mittaustuloksen tu-  
 35 kiasemalle käyttäen esimerkiksi FSM-signaalia (Feedback Signaling  
 Message), joka on osa FBI-takaisinkytkentää (Feedback Information) ylälinkin

- fyysisessä DPCCH-kanavassa (Dedicated Physical Control Channel), ja päätelaitteen sijainti määritetään esitetyllä tavalla mittaustulosten avulla tukiasemassa tai muualla verkko-osassa. Takaisinkytkentään liittyen voidaan tukiasemalle signaloida myös tehonsäätökomentoja sinänsä tunnetun tekniikan mukaisesti. Takaisinkytkentää ja suljetun silmukan tekniikkaa on tarkemmin kuvattu julkaisussa: Closed-loop transmit diversity techniques for multi-element transceivers, A. Hottinen, O. Tirkkonen, R. Wichman, Vehicular Technology Conference, IEEE VTS Fall 2000, vol. 1, p. 70 - 73, 2000, joka otetaan tähän viitteeksi. On myös mahdollista, että osa laskennasta suoritetaan päätelaitteessa ja osa muualla verkko-osassa.

Vaikka keksintöä on edellä selostettu viitaten oheisten piirustusten mukaiseen esimerkkiin, on selvää, ettei keksintö ole rajoittunut siihen, vaan sitä voidaan muunnella monin tavoin oheisten patenttivaatimusten esittämän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

### Patenttivaatimukset

1. Menetelmä paikannuksen suorittamiseksi radiojärjestelmässä,  
tunnnettu siitä, että  
 5        lähetetään ainakin kahden eri kanavan kautta kanavan estimointiin  
       soveltuvaa tunnistesignaalia;  
       otetaan vastaan mainittuja ainakin kahta tunnistesignaalia;  
       estimoidaan vastaanotettujen tunnistesignaalien avulla kanavien  
       spatiaalinen leima; ja  
       määritetään signaalien spatiaalisen leiman avulla vastaanottimen tai  
 10      lähettimen paikkaan liittyvä tieto.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
 että määritetään paikkaan liittyvänä tietona signaalien spatiaalisen leiman  
 avulla vastaanottimen ja lähettimen välinen ainakin yksi suunta.
3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
 15      että määritetään paikkaan liittyvä tieto siten, että verrataan estimoitua spatiaa-  
       listä leimaa ennalta tunnettuihin spatiaalsiin leimoihin ja määritetään paikaksi  
       sellainen paikka, jonka ennalta tunnettu spatiaalinen leima on lähinnä esti-  
       moitua spatiaalista leimaa.
4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
 20      että tunnistesignaalien lähettämiseksi kahden eri kanavan kautta lähetetään  
       tunnistesignaalia ainakin kahdesta eri antennielementistä (1, 2, 500, 502).
5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
 että ainakin lähettimen tai vastaanottimen sijainnin ollessa karttakoordinaatis-  
 tossa tunnettu määritetään paikkaan liittyvä tieto karttakoordinaatiston mu-  
 25      kaan.
6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
 että spatiaalinen leima muodostetaan käyttämällä hyväksi useaa eri ajanhet-  
 killä muodostettua kanavaestimaattimatriisia.
7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
 30      että spatiaalinen leima muodostetaan käyttämällä hyväksi useaa eri taajuuk-  
       silla muodostettu kanavaestimaattimatriisia.

8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että spatiaalinen leima muodostetaan käyttämällä hyväksi useaa eri vastaanottoantenneista laskettua kanavaestimaattimatriisia.

5           9. Patenttivaatimuksen 6, 7 tai 8 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan eri kanavaestimaateista vähintään yksi vähintään yhden kanavan kovarianssimatriisi, jonka vähintään yhden ominaisvektorin avulla muodostetaan spatiaalinen leima.

10           10. Patenttivaatimuksen 6, 7 tai 8 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan singulaariarvohajotelma kanavaestimaattimatriisille, jonka avulla määritetään kovarianssimatriisin ominaisarvovektorit paikkaan liittyvän tiedon määrittämiseksi.

15           11. Patenttivaatimuksen 9 tai 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että määritetään ensimmäinen dominoiva viivepolku käyttäen hyväksi eri viivepolulle laskettuja kanavan kovarianssimatriisin ominaisarvoja tai kanavan singulaariarvoja siten, että dominoiva viivepolku on se polku, jonka ominaisarvon energia on suurin.

            12. Patenttivaatimuksen 9 tai 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että määritetään ensimmäinen viivepolku, jonka ominaisarvon energia ylittää ennalta määrätyn kynnyksarvon.

20           13. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lisäksi paikannuksessa käytetään hyväksi ainakin yhtä seuraavista mittauksista:

                    määritetään vastaanottosuunta DOA-mittauksena;

                    määritetään vastaanottokulma AOA-mittauksena;

25           vastaanottosuunnan ja lähetyssuunnan vertaamiseksi toisiinsa.

            14. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lisäksi paikannuksessa käytetään hyväksi ainakin yhtä seuraavista mittauksista:

                    suoritetaan saapumisaikamittaus TOA-mittauksena;

30           suoritetaan saapumisaikaeromittaus TDOA-mittauksena;

                    lähettimen ja vastaanottimen välisen etäisyyden määrittämiseksi.

15. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että tunnistesignaalit ovat ainakin osittain korreloimattomia.

16. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että tunnistesignaalit ovat ortogonaalisia.

5 17. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että käytetään signaalien spatiaalisessa leimassa lyhintä viivettä vastaavia kanavaestimaatin alkioita tai parametreja.

18. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan tunnistesignaalit siten, että lähetetään signaalit eri antennielementeissä (1, 2, 500, 502) eri ajan hetkillä.

19. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan tunnistesignaalit koodaamalla signaalit oleellisesti tosiaan häiritsemättömiksi.

20. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan tunnistesignaalit lähettämällä signaalit eri taajuuksilla.

21. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että päätelaite (102, 304, 404) toimii vastaanottimena ja määrittää itse oman sijaintinsa.

22. Patenttivaatimuksen 21 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että päätelaitteelle (102, 304, 404) signaloidaan tarvittavat tiedot tukiaseman antennirakenteesta tai antennielementtien paikasta.

23. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että signaloidaan vastaanotettujen signaalien spatiaaliset leimat tai spatiaalisten leimojen parametrit tukiasemalle (104, 300, 400) ja määritetään päätelaitteen (102, 304, 404) sijainti radiojärjestelmän verkko-osassa.

24. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että käytetään yhtä tai useampaa tukiasemaa (104, 300, 400) määritettäessä päätelaitteen (202, 304, 404) sijainti.

25. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan signaalien spatiaalisen leiman avulla vastaanotettu teho; ja

maksimoidaan vastaanotettu teho lähetyssuunnan suhteen lähettimen ja vastaanottimen välisen paikkaan liittyvän tiedon määrittämiseksi.

26. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että päätelaite (102, 304, 404) estimoii tunnistesignaalia lähettävän yksikön  
5 paikan.

27. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että tunnistesignaalit ovat yleislähetyssignaaleja.

28. Patenttivaatimuksen 27 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että tunnistesignaalit ovat WCDMA-radiojärjestelmän Common Pilot  
10 Channel Signaaleja (CPICH).

29. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että tunnistesignaalit ovat kanavakohtaisia opetusjaksoja.

30. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että tunnistesignaalit lähetetään dedikoidulla kanavalla.

15 31. Radiojärjestelmä, joka käsittää lähettimenä ja vastaanottimena ainakin yhden tukiaseman (104, 300, 400) ja päätelaitteen (202, 304, 404), joista ainakin lähetin käsittää antennin, joka käsittää ainakin kaksi antennielementtiä, ja jossa radiojärjestelmässä suoritetaan paikannusta, t u n n e t t u siitä, että

20 lähetin on sovitettu lähettämään kanavan estimointiin soveltuvaa tunnistesignaalia ainakin kahden eri kanavan kautta;

vastaanotin on sovitettu vastaanottamaan mainittuja ainakin kahta tunnistesignaalia;

25 vastaanotin on sovitettu muodostamaan vastaanotettujen tunnistesignaalien avulla kanavien spatiaalinen leima; ja

paikannusta varten radiojärjestelmä on sovitettu määrittämään signaalien spatiaalisen leiman avulla vastaanottimen tai lähettimen paikkaan liittyvä tieto.

32. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että radiojärjestelmä on sovitettu määrittämään paikkaan liittyvä  
30 nä tietona signaalien spatiaalisen leiman avulla vastaanottimen ja lähettimen välisen ainakin yhden suunnan.

33. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että tunnistesignaalien lähettämiseksi ainakin kahden eri kanavan kautta lähetin on sovitettu lähettämään ainakin kahdesta eri antennielementistä (1, 2, 500, 502) tunnistesignaalia.

5           34. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että radiojärjestelmä on sovitettu vertaamaan estimoitua spatiaalista leimaa ennalta tunnettuihin spatiaalsiin leimoihin ja määrittämään paikaksi sellainen paikka, jonka ennalta tunnettu spatiaalinen leima on lähinnä estimoitua spatiaalista leimaa.

10           35. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että lähettimen tai vastaanottimen sijainnin ollessa karttakoordinaatistossa tunnettu radiojärjestelmä on sovitettu määrittämään paikkaan liittyvä tieto karttakoordinaatiston mukaan.

15           36. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että vastaanotin on sovitettu muodostamaan spatiaalinen leima käyttämällä hyväksi useaa eri ajanhetkillä muodostettua kanavaestimaattimatriisia.

20           37. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että vastaanotin on sovitettu muodostamaan spatiaalinen leima käyttämällä hyväksi useaa eri taajuuksilla muodostettua kanavaestimaattimatriisia.

25           38. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että vastaanotin on sovitettu muodostamaan spatiaalinen leima käyttämällä hyväksi useaa eri vastaanottoantenneista laskettua kanavaestimaattimatriisia.

30           39. Patenttivaatimuksen 36, 37 tai 38 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että vastaanotin on sovitettu muodostamaan eri kanavaestimaateista vähintään yksi vähintään yhden kanavan kovarianssimatriisi, jonka vähintään yhden ominaisvektorin avulla vastaanotin on sovitettu muodostamaan spatiaalinen leima.

40. Patenttivaatimuksen 36, 37 tai 38 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että vastaanotin on sovitettu muodostamaan singulaariar-



vohajotelma kanavaestimaattimatriisille, jonka avulla vastaanotin on sovitettu määrittämään kovarianssimatriisin ominaisarvovektorit paikkaan liittyvän tiedon määrittämiseksi.

41. Patenttivaatimuksen 37 tai 38 mukainen radiojärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että radiojärjestelmä on sovitettu määrittämään ensimmäinen dominoiva viivepolku käyttäen hyväksi eri viivepolulle laskettuja kanavan kovarianssimatriisin ominaisarvoja tai kanavan singulaariarvoja ja radiojärjestelmän on sovitettu määrittämään dominoivaksi viivepoluksi sen polun, jonka ominaisarvon energia on suurin.

42. Patenttivaatimuksen 37 tai 38 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että radiojärjestelmä on sovitettu määrittämään ensimmäinen viivepolku, jonka ominaisarvon energia ylittää ennalta määrätyn kynnyсарvon.

43. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että radiojärjestelmä on lisäksi sovitettu käyttämään paikannuksessa hyväksi ainakin yhtä seuraavista mittauksista:

vastaanottosuunnan DOA-mittaus;

vastaanottokulman AOA- mittaus;

vastaanottosuunnan ja lähetyssuunnan vertaamiseksi toisiinsa.

44. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että radiojärjestelmä on lisäksi sovitettu käyttämään paikannuksessa hyväksi ainakin yhtä seuraavista mittauksista:

saapumisaikamittauksen TOA- mittaus; ja

saapumisaikaeromittauksen TDOA- mittaus;

25 lähettimen ja vastaanottimen välisen etäisyyden määrittämiseksi.

45. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että tunnistesignaalit ovat ainakin osittain korreloimattomia.

46. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että tunnistesignaalit ovat ortogonaalisia.

47. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että tunnistesignaalit ovat yleislähetyssignaaleja.

48. Patenttivaatimuksen 47 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että tunnistesignaalit ovat WCDMA-radiojärjestelmän Common Pilot Channel Signaaleja (CPICH).

49. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että tunnistesignaalit ovat kanavakohtaisia opetusjaksoja.

50. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että tunnistesignaalit lähetetään dedikoidulla kanavalla.

51. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että radiojärjestelmä on sovitettu käyttämään signaalien spatiaalisessa leimassa lyhintä viivettä vastaavia alkioita.

52. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että tukiasema (104, 300, 400) on sovitettu lähettämään tunnistesignaalit eri antennielementeissä eri ajan hetkillä.

53. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että tukiasema (104, 300, 400) on sovitettu koodaamaan tunnistesignaalit tosiaan häiritsemättömiksi.

54. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että tukiasema (104, 300, 400) on sovitettu lähettämään tunnistesignaalit eri taajuuksilla.

55. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että päätelaite (202, 304, 404) on vastaanotin ja on sovitettu määrittämään itse oman sijaintinsa.

56. Patenttivaatimuksen 45 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että päätelaitteelle (102, 304, 404) signaloidaan tarvittavat tiedot tukiaseman antennirakenteesta tai antennielementtien paikasta.

57. Patenttivaatimuksen 31 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että päätelaite (102, 304, 404) on sovitettu signaloimaan vastaanotettujen signaalien spatiaaliset leimat tai spatiaalisten leimojen parametrit tukiasemalle (104, 300, 400) ja määrittämään päätelaitteen (102, 304, 404) sijainti radiojärjestelmän verkko-osassa.

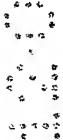
58. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että radiojärjestelmä on sovitettu käyttämään yhtä tai useampaa tukiasemaa (104, 300, 400) määrittäessä päätelaitteen sijaintia.

5 59. Patenttivaatimuksen 31 mukainen radiojärjestelmä, tunnettu siitä, että radiojärjestelmä on sovitettu muodostamaan signaalien spataalisen leiman avulla vastaanotettu teho, ja maksimoimaan vastaanotettu teho lähetyssuunnan suhteen paikkaan liittyvän tiedon määrittämiseksi.

### (57) Tiivistelmä

Keksinnön kohteena on menetelmä paikannuksen suorittamiseksi radiojärjestelmässä. Tukiaseman (300) ryhmä-antennin (310) ainakin kahdesta eri antennielementistä lähetetään toisiaan häiritsemätöntä tunnistesignaalia, jotta päätelaite (304) ottaa vastaan ja muodostaa vastaanotettujen signaalien spatiaalinen leiman. Joko päätelaite (304) tai radiojärjestelmän verkko-osa määrittää signaalin spatiaalisen leiman avulla vastaanottimen tai lähettimen paikan.

(Kuvio 3)



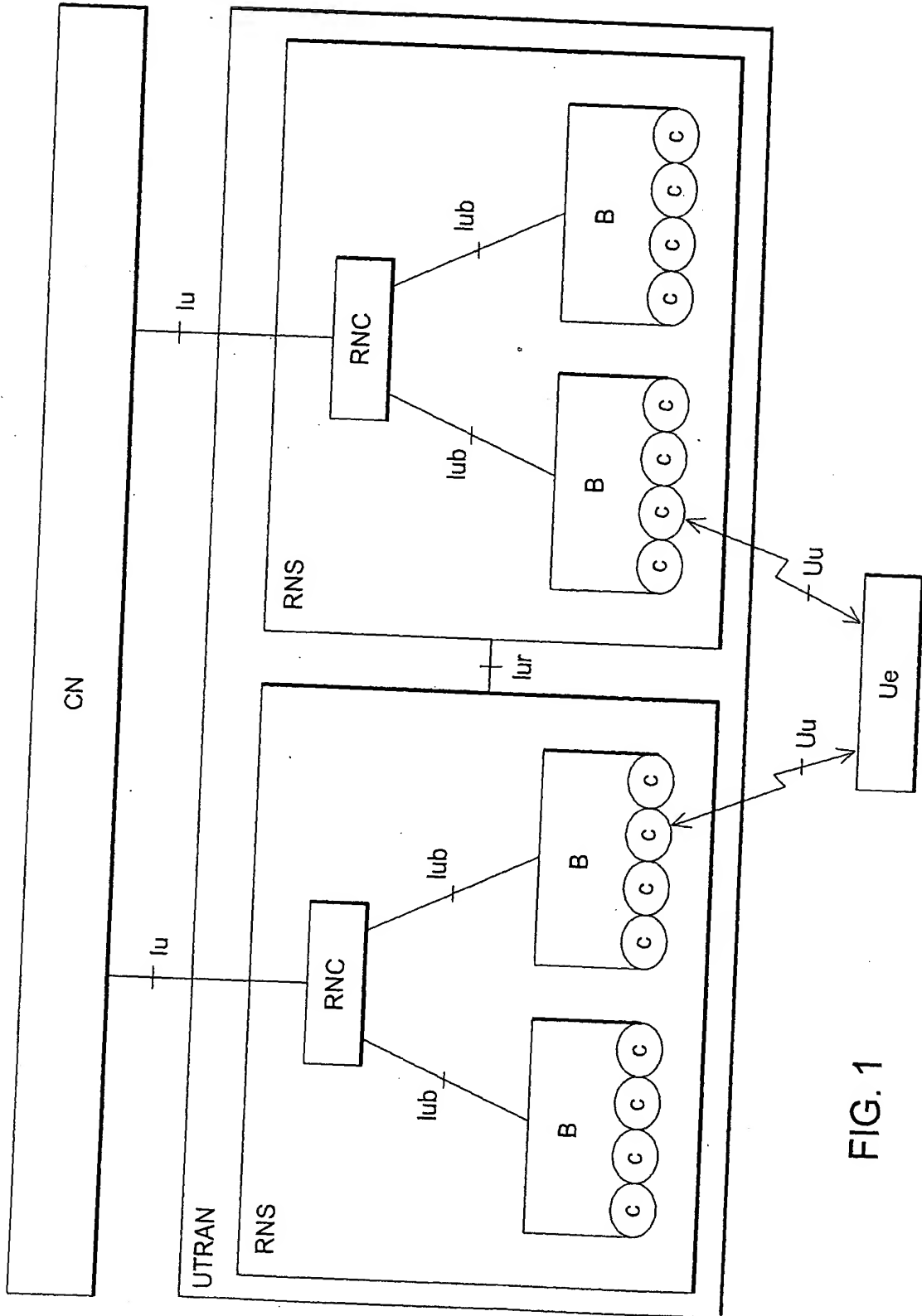


FIG. 1

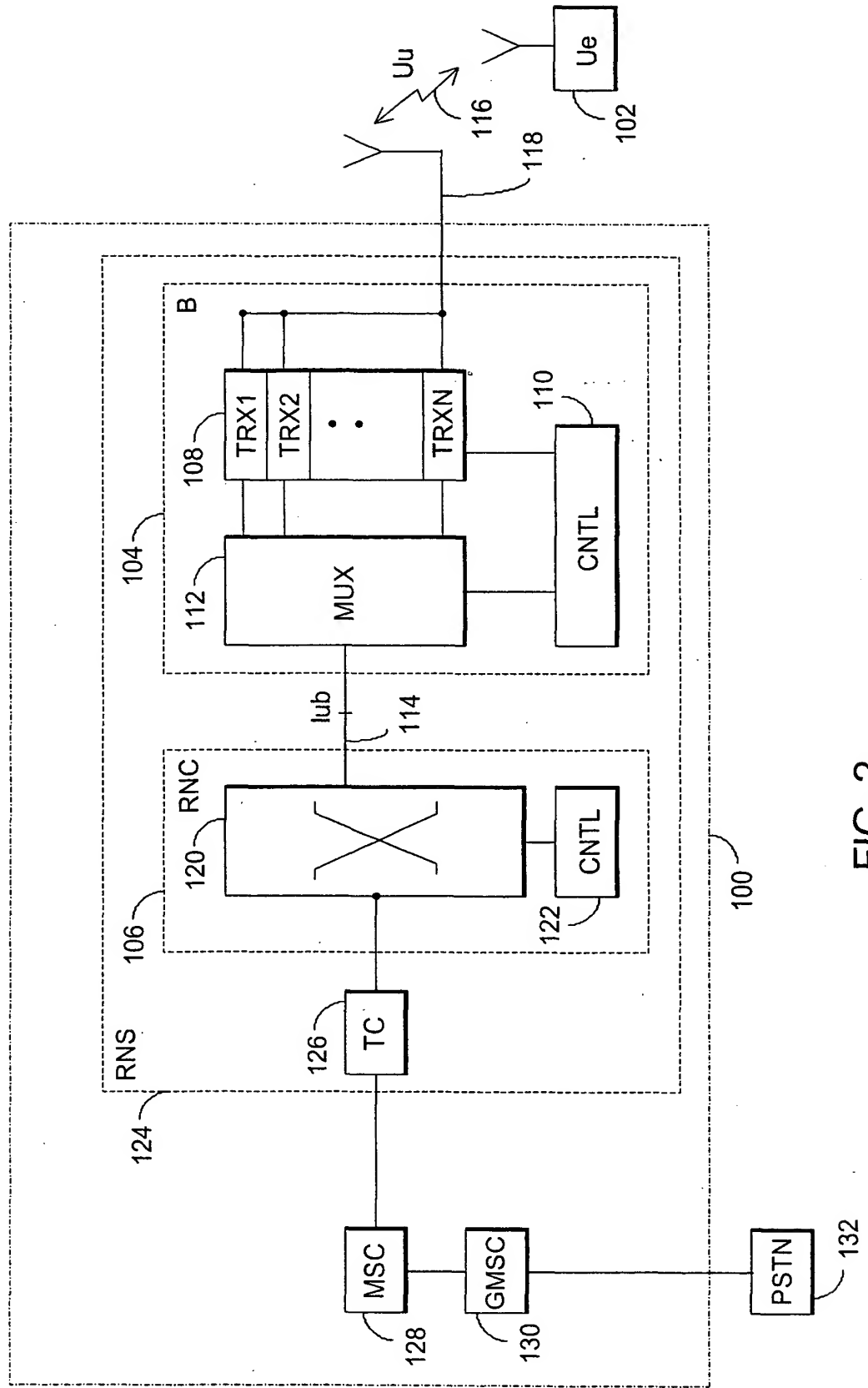
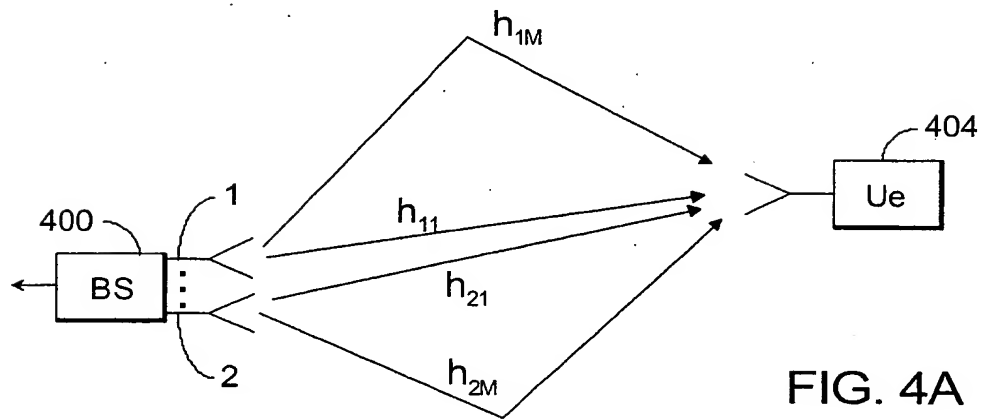
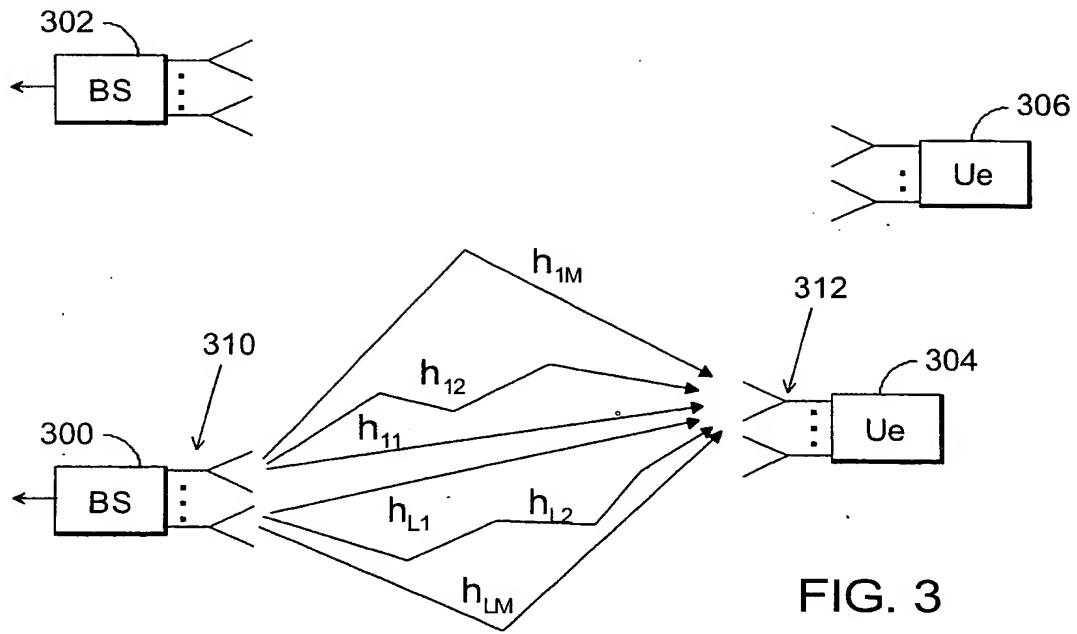


FIG. 2



4/5

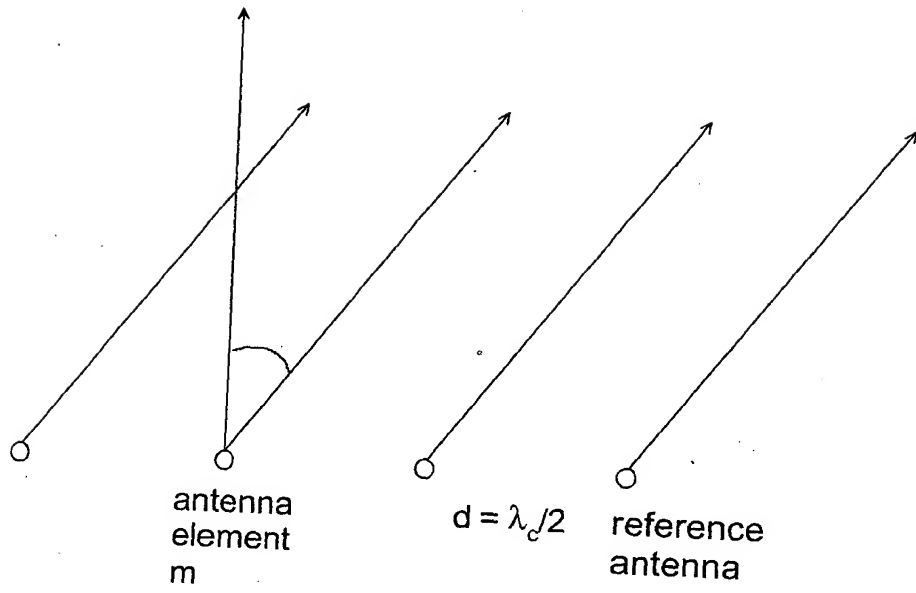


FIG. 4B

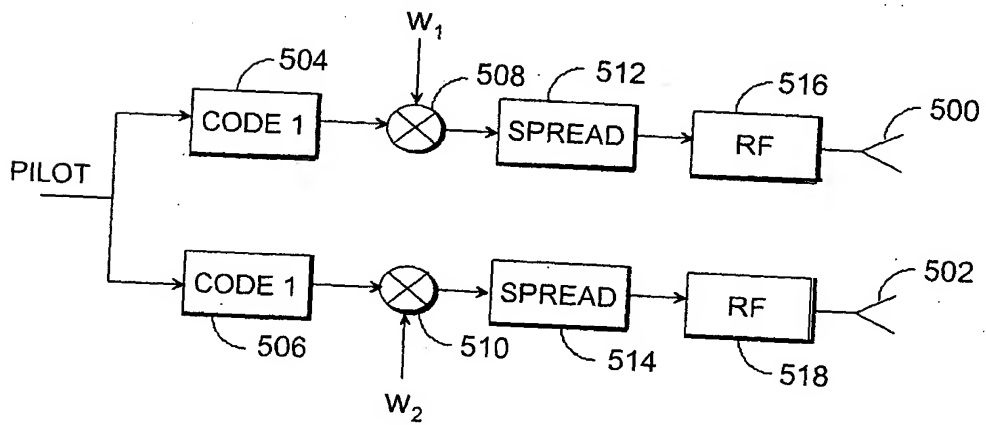


FIG. 5



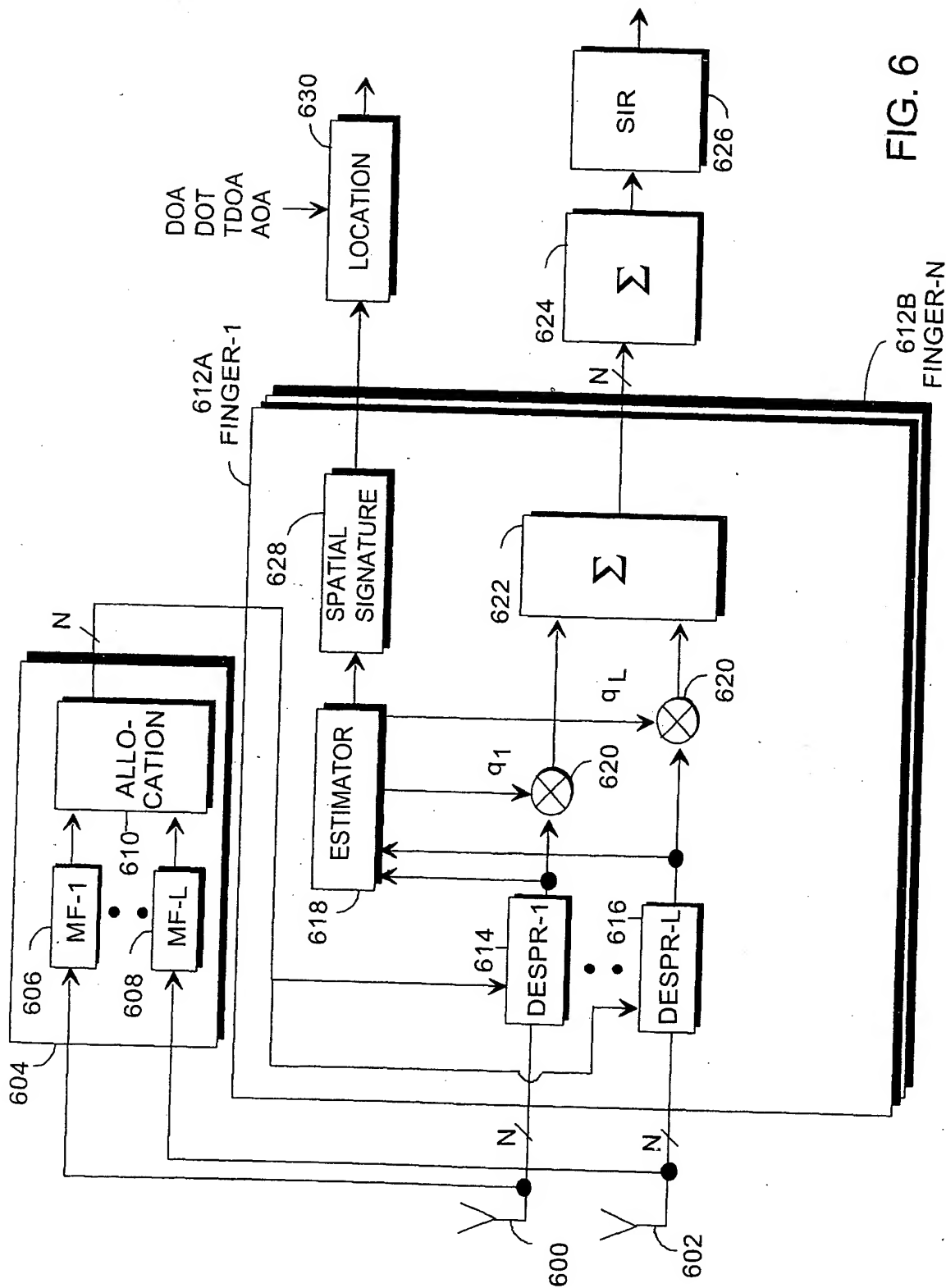


FIG. 6